



Uptc

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia



LA ESENCIA DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Administración de Empresas

Este material de autoestudio fue creado en el año 1998 para la asignatura Administración de Empresas del programa Ingeniería Electromecánica y ha sido autorizada su publicación por el (los) autor (es), en el Banco de Objetos Institucional de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.



Oliverio García Palencia
oligar52@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

La tendencia de la Economía Mundial, el comercio, y el movimiento de capitales entre países aumenta cada año. Como consecuencia las empresas se encuentran frente a un nuevo entorno de desarrollo y deben adoptar las estrategias más convenientes. Si queremos que nuestras empresas sobrevivan, la prioridad debe ser mejorar su gestión tecnológica. Los nuevos enfoques de producción que se adoptaron desde los años setenta fueron bastante útiles, pero si el sector productivo quiere resurgir y recuperar el mercado que ha perdido, hay que llevar a la práctica cambios más radicales.

Día a día se concede mayor atención a las actividades de estímulo a la economía y el crecimiento industrial de los países en desarrollo. Sin embargo, el progreso industrial no se reduce sólo a la inversión en nuevas instalaciones de producción y a la transferencia de tecnología extranjera, sino que es indispensable utilizar efectivamente las instalaciones actuales, donde uno de los requerimientos más importantes es el establecimiento de un servicio sistemático y técnico de mantenimiento eficiente, seguro y económico de los equipos industriales.

Uno de los sistemas aplicables de mantenimiento que esta dando los resultados más eficaces para el logro de un rápido proceso de optimización industrial, es el Mantenimiento Productivo Total (TPM), que busca el mejoramiento permanente de la productividad con la participación de todos. El TPM es un moderno sistema gerencial de soporte al desarrollo industrial, pues permite tener equipos de producción siempre listos. Esta metodología soportada por un buen número de técnicas administrativas de gestión, establece las estrategias adecuadas para el aumento continuo de la productividad empresarial.

Dos premisas son básicas en los programas de mejoramiento de una industria. En primer lugar la función del mantenimiento ha de optimizarse; por lo que con frecuencia es necesario, aumentar la inversión en mantenimiento para obtener el mínimo costo total de producción. En segundo lugar, para el buen éxito de cualquier programa, este ha de suscitar la cooperación y el interés todos, y ha de ser específicamente proyectado para la planta respectiva.

Por todo lo anterior la capacitación de los profesionales en el área Terotecnológica no solo es necesaria, sino indispensable, y esto justifica plenamente los esfuerzos realizados para dotar una amplia documentación actualizada sobre esta rama del conocimiento, y la elaboración de textos que recopilen los aspectos más relevantes, para ponerlos al alcance de estudiantes y profesionales con la claridad y sencillez necesaria.

El objetivo del presente trabajo es dar a conocer los fundamentos de la Gerencia del Mantenimiento, que busca coordinar sistemáticamente la aplicación de las teorías administrativas en las actividades de

mantenimiento, se centra en el TPM, donde se muestran sus elementos constituyentes, los factores de productividad, sus aplicaciones y las herramientas para mejorar la efectividad del mantenimiento, con la metodología necesaria para su implementación en la Industria Nacional.

El Documento esta dividido en seis capítulos donde se presenta la Filosofía del Mantenimiento y el desarrollo teórico del TPM como un documento actualizado sobre la diversidad de aplicaciones técnicas industriales derivada de la gerencia moderna, el proceso de mejoramiento continuo Japonés y la Gestión de Calidad Total.

Dentro del texto inicialmente se muestran los elementos necesarios para establecer un adecuado programa de Optimización de Mantenimiento con miras a lograr una Manufactura de Categoría Mundial, enmarcada dentro del contexto global de la Filosofía del Mantenimiento. A continuación se tratan los sistemas básicos de aplicación del mantenimiento, el mantenimiento productivo y la Productiva, los conceptos fundamentales del TPM y las recomendaciones para lograr un programa de Mantenimiento excelente.

Posteriormente se incluye un capítulo sobre aplicabilidad del TPM, que incluye el Mantenimiento Autónomo, la Prevención de Mantenimiento y el Proceso de implementación de un sistema de Mantenimiento Productivo Total, que puede ser aplicable en las Empresas Colombianas con miras a lograr afrontar exitosamente el proceso de Internacionalización y Apertura de la Economía. En el capítulo final se incluyen los principios básicos de control y costos de Gerencia del Mantenimiento.

La adecuada utilización del texto por todos los niveles jerárquicos de la función del mantenimiento, para aclarar principios fundamentales y el despertar la inquietud en los lectores para profundizar en el estudio de las nuevas tecnologías de mantenimiento, u otros tópicos aquí tratados, constituye el propósito último del presente trabajo. Cabe anotar finalmente, que los temas desarrollados pueden ser complementados con la amplia bibliografía que se da al final, donde las citas bibliográficas corresponden a los números encerrados en paréntesis a lo largo del texto.

1. FILOSOFÍA DEL MANTENIMIENTO

1.1 MISIÓN DEL MANTENIMIENTO

El Mantenimiento Industrial como parte integral de la producción, tiene como propósito garantizar el óptimo funcionamiento de los equipos industriales y demás infraestructura empresarial, mediante programas de prevención y predicción de fallas, reparación de daños y mejoramiento continuo de sus condiciones con la política de cero defectos, para cumplir sus tres objetivos fundamentales:

- CONSERVACIÓN DE LOS ACTIVOS FIJOS. Mediante el desarrollo de las técnicas administrativas y de mantenimiento más eficaces, para conservar en el largo plazo la vida útil de los equipos productivos, acordes con los requerimientos económicos.
- DISPONIBILIDAD DE LOS ACTIVOS FIJOS. Mediante el desarrollo de normas y procedimientos que promuevan de manera eficiente, segura y económica la máxima disponibilidad técnica y operativa de los equipos de acuerdo con los requisitos particulares de producción.
- ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS. Mediante el desarrollo de los procesos, procedimientos y estándares que mejor promuevan el uso eficiente, eficaz y económico de los recursos humanos, físicos y materiales de la organización.

1.2 POSTULADOS DEL MANTENIMIENTO

Aunque en mantenimiento como cualquier ciencia, existen un sin número de principios, mediante la siguiente enumeración se dan los postulados que en concepto global son los más importantes [16]:

- El mantenimiento es parte integral de la estructura organizacional.
- El Mantenimiento es parte vital de la producción. Por lo tanto, mantenimiento es tan importante como operaciones.

- El buen mantenimiento significa, la protección de la inversión, la garantía de la productividad y la seguridad del servicio.
- La ética del mantenimiento es la calidad de su servicio. Velar por el mantenimiento asegura una mejor calidad a más bajo costo.
- El trabajo de mantenimiento debe planificarse antes de su ejecución. La planeación, la programación, el control y el soporte técnico son parte integral en la ejecución de los trabajos de mantenimiento.
- El desarrollo y la implementación de programas de mantenimiento se deben basar en el conocimiento y en la experiencia. Los programas se elaboran para ser cumplidos.
- La carga de trabajo debe ser ejecutada y controlada de acuerdo con las prioridades.
- El trabajo del personal debe ser programado y revisado con base en estándares. Se debe utilizar la información estadística como soporte en los procesos de evaluación y toma de decisiones.
- El Gerenciamiento del mantenimiento debe ser comparado con normas y estándares.
- Mantenimiento es responsable de la preservación y mejoramiento de las condiciones reales de los equipos, no de su operación.
- El mantenimiento óptimo se diseña en una instalación desde su montaje. Mantenimiento debe instalar solamente equipos de buena confiabilidad.
- Todas las instalaciones deben diseñarse con mantenibilidad adecuada.
- La confiabilidad de los equipos es una responsabilidad compartida entre Operación y Mantenimiento. La máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos es parte de la satisfacción del cliente.
- Deben existir programas permanentes de entrenamiento, capacitación y desarrollo de personal. El mantenimiento no se improvisa, se aprende.
- Para optimizar el mantenimiento es necesario hacer énfasis en el mantenimiento preventivo, predictivo y las técnicas de prevención de mantenimiento.
- El mantenimiento es un sistema que depende y requiere de variables interdisciplinarias de varias especialidades. Para ello mantenimiento debe recibir apoyo logístico y técnico adecuado de toda la organización.
- La velocidad de optimización del mantenimiento depende de la calidad administrativa de la organización.

- Los costos de mantenimiento se deben informar y controlar de manera significativa para el adecuado seguimiento de los programas de optimización.
- Para lograr productividad en mantenimiento se requiere la formación administrativa del personal directivo.
- La disposición del personal, el liderazgo y la preparación de los trabajos hacen más por el mantenimiento que la multiplicación de los controles.
- Las sugerencias del personal, son una de las mayores fuentes de recursos del mantenimiento.
- La iniciativa, creatividad y actualización técnica del personal son pilares para el desarrollo de la función Mantenimiento. El hombre de mantenimiento es el principal gestor en el logro de los objetivos.
- A mayores niveles de formación humana y técnica del personal de Mantenimiento, mayor es su autonomía.
- La participación de nuestros clientes es fundamental para cumplir con la misión de Mantenimiento.
- El registro permanente de la información técnica, administrativa y de costos es esencial en la administración del mantenimiento.
- La participación del personal de Mantenimiento en las etapas de diseño de los proyectos asegura la mantenibilidad futura de los equipos.
- La participación activa y responsable del personal en el control de riesgos, logra alcanzar altos niveles de seguridad y preservación del medio ambiente.
- Toda actividad de mantenimiento debe enmarcarse en procedimientos estandarizados y en prácticas seguras. El trabajo de mantenimiento debe ser controlado mediante índices, desde su origen.
- El soporte externo es fundamental para el desarrollo de Mantenimiento. El mantenimiento es por tanto una actividad que involucra también a proveedores y contratistas.
- El juez final del mantenimiento industrial es el volumen de producción.

1.3 VALORES BÁSICOS DEL MANTENIMIENTO

Los principales valores que se incluyen dentro de la filosofía del mantenimiento son:

- Lealtad
- Honestidad
- Tolerancia
- Austeridad
- Cooperación
- Responsabilidad y
- Sentido de pertenencia.

1.4 ESTRATEGIAS DEL MANTENIMIENTO MODERNO

Algunas de las estrategias que favorecen el Mantenimiento óptimo se enuncian a continuación:

- Liderar y llevar a cabo planes de Desarrollo Integral de los trabajadores en las áreas Técnicas, Administrativa y Humana, mediante capacitación, formación de habilidades, entrenamiento y desarrollo.
- Adaptar la estructura organizacional de acuerdo con las necesidades generadas por la dinámica del Mantenimiento Productivo Total.
- Diseñar e implementar un programa de Reconversión Industrial de los equipos productivos, de acuerdo con las tecnologías de punta. (Estandarización, Sustitución, Modernización, Actualización y Automatización).
- Liderar el proceso de construcción de una nueva cultura de mantenimiento, aplicando los conceptos modernos de la Confiabilidad, Productividad, Efectividad, Disponibilidad y Mantenibilidad.
- Proyectar la función del Mantenimiento para lograr mejoras considerables en Productividad, eficiencia y Calidad de las operaciones dentro de la Empresa, mediante la implementación de nuevas tecnologías.
- Familiarizar al personal de Mantenimiento con la utilización de la Tecnología Informática, para poder implementar una herramienta de procesamiento que permita una administración óptima de la información en Mantenimiento.
- Lograr la participación de producción en las actividades de mantenimiento primario, mediante la implementación de un programa de Mantenimiento Autónomo.

- Definir las áreas específicas de interrelación con otras dependencias para fomentar el trabajo en equipo.
- Participar activamente en el establecimiento y control de panoramas de riesgo y de protección al medio ambiente, generando un plan integrado de normas de seguridad.
- Diseñar y desarrollar procesos de Reingeniería de Mantenimiento, participando en el desarrollo de nuevos proyectos desde la etapa de diseño hasta su implementación.

1.5 OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

La optimización del mantenimiento implica lograr una mayor productividad mediante el incremento en su eficiencia y en su eficacia. Eficiente hace referencia a la ejecución de acciones con alta calidad en el menor tiempo posible; eficaz a la ejecución de acciones tendientes a obtener excelentes resultados para lograr las metas propuestas, y óptimo, al logro de resultados al más bajo costo posible [16].

Como consecuencia de lo anterior, día a día se hace más necesario, el establecimiento de programas de optimización de mantenimiento que se basen en dar respuesta conveniente a los siguientes interrogantes [20]:

- ¿Qué puede hacerse para lograr que el mantenimiento contribuya a las ganancias de la empresa, mediante el control de sus gastos?
- ¿A qué nivel de mantenimiento se obtiene un beneficio óptimo?
- ¿Cómo puede evaluarse en ese nivel la calidad del mantenimiento?

Desde luego, hay que dejar sentado que es difícil establecer cuál es el nivel óptimo de mantenimiento porque lo que puede ser conveniente para una fábrica, no tiene por que serlo para otras. El problema radica en identificar el nivel lícito más adecuado de mantenimiento y luego determinar el nivel de mantenimiento real para mediante su comparación, ir adoptando las medidas correctivas necesarias.

Como respuesta a los interrogantes anteriores, muchas compañías han tomado medidas productivas, como el empleo de prácticas y recursos con sistemas de ordenamiento del trabajo, programas preventivos y predictivos, sistemas de información gerencial y aplicación de índices de control.

Todo programa de optimización de mantenimiento debe ser establecido con los siguientes objetivos [31]:

- Optimizar los recursos disponibles de personal y equipo para realizar el mantenimiento en forma eficiente.
- Determinar los niveles óptimos de existencia de repuestos.
- Justificar con base a costos reales de mantenimiento el reemplazo de equipos.
- Formular políticas administrativas para fijar y controlar la eficiencia del mantenimiento.

Para lograr los objetivos y vigilar el desarrollo del programa, el departamento de mantenimiento debe valerse de indicadores de control, mediante estudio y análisis de los datos que produce el sistema de información, sobre parámetros tales como la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y efectividad de los equipos y sistemas.

1.6 PROCESO DE OPTIMIZACIÓN

El primer paso en el desarrollo de un programa de optimización de mantenimiento consiste, en establecer metas parciales concretas, o estándares, con fines de futura comparación. Una vez que el personal completa el análisis de actividades, se debe iniciar el trabajo de revisión y comparación de los costos de mantenimiento; esta es la parte esencial del análisis y su resultado forma la base del programa de optimización. En el curso de la revisión general del departamento se deben analizar las categorías básicas que integran la función del mantenimiento [25] (Figura 1):

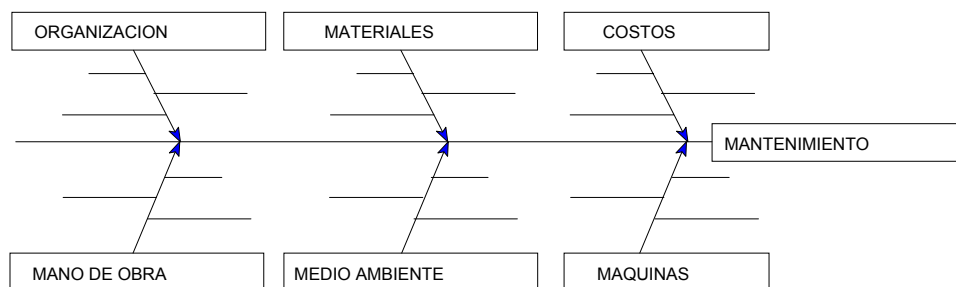


Figura 1. Categorías Básicas del Mantenimiento

- La organización
- La mano de obra
- La disponibilidad de los equipos
- El control de los materiales
- El control de los costos
- El medio circundante.

La organización óptima del mantenimiento se alcanza al obtener un equilibrio adecuado de las funciones de dirección y mano de obra, a fin de lograr un control efectivo de las actividades.

En el desempeño de la mano de obra se debe considerar, el número de trabajadores, los niveles de capacitación técnica y experiencia personal, la disponibilidad de equipos y herramientas adecuadas, la descripción de las funciones laborales y los sistemas de programación de personal. Con base en los recursos disponibles, las prioridades y limitaciones, la planeación se hace mediante un programa computarizado, para facilitar el análisis y determinar las actividades específicas con el personal más conveniente.

A continuación, se pasa a identificar la seguridad funcional mecánica de los equipos y las dificultades de los procesos, y recomendarse los cambios o actividades necesarias para aumentar sus índices de confiabilidad.

En la siguiente etapa de revisión, hay que cerciorarse que control de materiales se hace de modo que se optimiza el capital de explotación, se minimiza las paradas de los equipos y se maximiza el rendimiento de la mano de obra. Esto mediante el adecuado aprovisionamiento económico de equipos y repuestos, cuya función asegure la disponibilidad de las piezas y materiales requeridos, y permita un sistema simple, pero eficaz, para la renovación de ordenes y pedidos.

En la última etapa, el control de costos realiza el análisis económico para cada uno de los parámetros revisados y determinan el nivel óptimo de mantenimiento para un funcionamiento económico de la empresa. Ahora bien, el nivel óptimo es el punto en el que los costos totales, que combinan costos directos, tiempo perdido, desperdicio y deterioro excesivo, son mínimos, determinados por el punto más bajo en la curva de costos (Figura 2). Si los costos combinados se encuentran a la izquierda del punto mínimo, quiere decir que la inversión en mantenimiento es insuficiente. Por el contrario, si dichos costos se hallan a la derecha del punto mínimo, es por que el mantenimiento es exagerado.

Con base en el análisis anterior debe crearse un sistema eficiente y eficaz de metas de costos y de información. El sistema además debe servir para identificar los costos por áreas, equipos y programas; y es de fundamental importancia para ello, la información verídica y oportuna a los centros de costos.

Una vez determinado el nivel óptimo del mantenimiento es necesario solucionar el problema relacionado con la evaluación del nivel real del mantenimiento; es decir, antes de poder mejorar la eficiencia del departamento de mantenimiento es necesario saberla evaluar.

Una adecuada evaluación es la medida básica para convertir al mantenimiento en un centro productor de utilidades; por tanto se requiere, inicialmente poder agrupar suficiente información sobre:

- La proporción del tiempo perdido, o de inactividad de los equipos por fallas imprevistas, en comparación con otras compañías. Estos datos pueden obtenerse por intercambio de información empresarial o por estadísticas de revistas especializadas.

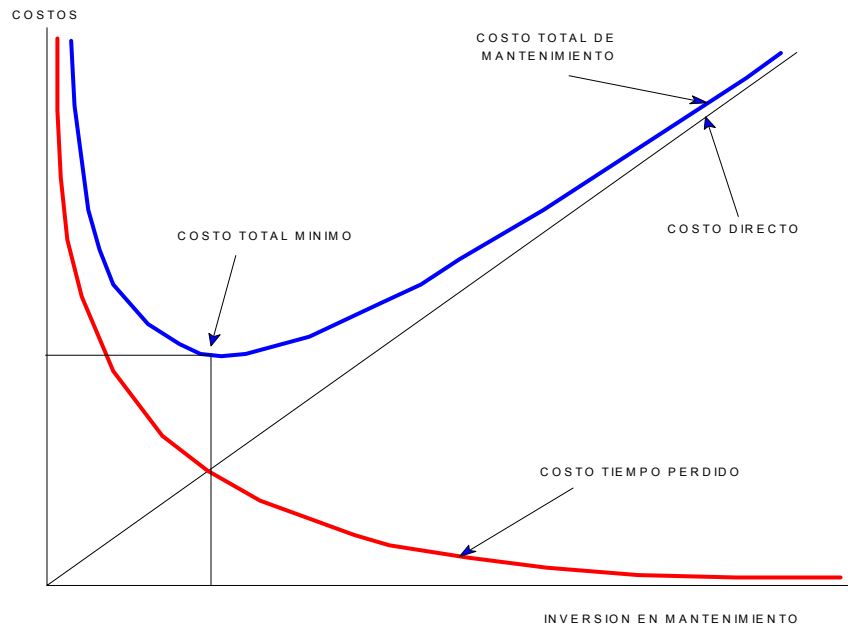


Figura 2. Costos de Mantenimiento

- El porcentaje del rendimiento del trabajo de mantenimiento (efectividad) con base en las normas preestablecidas.
- El porcentaje de los trabajos de emergencia, o de mantenimiento correctivo, u otros índices de control.
- El porcentaje de salidas de existencias de equipos y materiales para mantenimiento.

Con la anterior información se adelanta la planeación general de actividades y la toma de decisiones, y esto, se ha demostrado experimentalmente, permite ahorrar hasta el 20% de los costos reales. Los jefes de mantenimiento necesitan establecer normas de ejecución o rendimiento, un sistema formal de ordenes de trabajo y asignación de personal, para lograr el mejor aprovechamiento del tiempo y los recursos disponibles; y un adecuado historial de mantenimiento para prever acertadamente las necesidades futuras [2].

Para poder determinar las reducciones de costos que se logran con una buena planificación, se requiere conocer:

- El costo de materiales, el valor de conservación y costo anual del movimiento de existencias.
- El costo de mano de obra, respecto a oficios, áreas, programas, o tipos de servicio previstos.
- El costo de tiempo perdido por interrupciones del trabajo.
- El costo directo del departamento incluyendo los gastos administrativos.

El análisis comparativo de los costos anteriores mide la tendencia general de gastos de mantenimiento con respecto al tiempo, y a su evolución referente al nivel óptimo económico determinado con anterioridad.

Adicionalmente, el disponer de una buena información respecto a todos los trabajos del departamento permite una planeación correcta, con fines futuros, de mano de obra, tiempo, materiales y requisitos financieros; que serán una contribución fundamental al logro del objetivo de mejorar la productividad.

Finalmente, como complemento a todo lo expuesto, existe un buen número de enfoques administrativos que han sido creados con el propósito de obtener un elevado nivel de productividad, calidad y eficiencia, aplicables también al mantenimiento para mejorar sus procesos. Entre ellos vale la pena destacar [16]:

- La Planeación Estratégica
- La Gerencia Participativa
- La Administración por Políticas
- La Administración por Procesos
- El Análisis de Pareto
- El Kaizen
- La Gestión de Calidad Total
- El método de Justo a Tiempo
- La Reingeniería
- El Benchmarking
- El Groupware
- El Humanware
- Los Sistemas de Información Gerencial
- Los grupos primarios e interdisciplinarios
- Los Círculos de Participación
- Las técnicas estadísticas y
- El análisis de resultados.

1.7 ELEMENTOS CLAVES PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Existen cuatro elementos fundamentales para el desarrollo óptimo de un sistema de mantenimiento industrial: La Visión, la Organización, la Tecnología y la Gente.

1.7.1 Visión

La Visión del Mantenimiento es su Prospectiva a largo plazo que debe incluir:

- Reducción del monto de trabajo de mantenimiento.
- Mantenimiento basado en condición, en vez de actividad basada en el tiempo.
- Uso extensivo de medidas costo–desempeño y de índices para lograr el mejoramiento continuo de la Confiabilidad de los equipos.

1.7.2 Organización

Las nuevas Organizaciones están enfocadas al proceso de los negocios más que al desarrollo de los productos y tienen como características principales:

- Redes de clientes y proveedores internos y externos
- Personal reducido y estructuras planas
- Importancia de la planificación y el apoyo técnico
- Calificación y capacitación continua del personal
- Cambios profundos en los roles del Personal
- Aumento del personal contratado.

En estas organizaciones la PLANIFICACION es más dinámica y tienen también unas características especiales:

- Capta y filtra la demanda de trabajos
- Estima y coordina los recursos
- Maneja y registra historias de trabajo y métodos
- Construye el conocimiento de la experiencia individual
- Monitorea permanentemente el desempeño del trabajo.

1.7.3 Tecnología

Los nuevos desarrollos tecnológicos se muestran íntimamente relacionados con los procesos del negocio y su influencia es determinante por:

- La gran capacidad de desarrollo del Software, donde el Hardware ya no es factor preponderante.
- El establecimiento masivo de redes Cliente – Servidor con arquitectura abierta.

- La flexibilidad de las herramientas computacionales y sus aplicaciones, en vez de los sistemas rígidos.
- Las relaciones profundas entre Diseño, Proceso, Máquina, Trabajo, Clientes y Proveedor.
- El establecimiento rápido en las variaciones de producción y la condición real e historia de los equipos.
- El reporte rápido de las tendencias de los equipos críticos.

1.7.4 Gente

El trabajador de mantenimiento del futuro debe reunir una serie de condiciones muy especiales:

- Capacidad de diagnóstico muy amplia.
- Ser técnico más que obrero.
- Multiespecializado, altamente capacitado tanto en lo conceptual como en lo práctico.
- Capacidad de trabajo individual con supervisión mínima o como parte de un grupo pequeño, altamente móvil dentro de su área de responsabilidad.
- Poseer acceso instantáneo al historial de los equipos, a la documentación técnica, o al consejo experto, mediante un micro - procesador portátil.
- Ser asesor interno del operador quien asume la mayoría de responsabilidades en el Mantenimiento Autónomo.

2. SISTEMAS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

2.1 EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO

2.1.1 Generalidades

Por definición, Mantenimiento Correctivo es el conjunto de actividades desarrolladas en máquinas, instalaciones o edificios, cuando a consecuencia de una falla, han dejado de prestar la calidad del servicio para la cual fueron diseñados. Por tanto, las labores que deben llevarse a cabo tienen por objeto la recuperación inmediata de la calidad del servicio.

Toda labor de Mantenimiento Correctivo, exige una atención inmediata, por lo cual esta no puede ser debidamente programada y en ocasiones solo se tramita y controla por medio de reportes “Máquina fuera de servicio” y en estos casos el personal debe efectuar los trabajos absolutamente indispensables para seguir prestando el servicio, disminuyendo al mínimo el tiempo de parada y la consiguiente producción pérdida. El Mantenimiento Correctivo es el tipo de mantenimiento más usado ya que es el que requiere de menor conocimiento, organización y en principio menor esfuerzo, aunque esto realmente no es así pues demanda trabajo anormal y por lo general fuera de horas hábiles.

La actividad fundamental que se desarrolla en Mantenimiento Correctivo es la reparación no planificada que resulta debido a la falla imprevista; antes que se realice la reparación propiamente dicha es necesario examinar el tipo y la causa del daño; esto es lo que suele llamarse comprobación del daño y mediante esta constatación se permite ver concretamente cuales son las operaciones que hay que efectuar.

2.1.2 Recursos Necesarios

Las averías y los paros en maquinaria se presentan aún en las fábricas que cuentan con un buen sistema de Mantenimiento Preventivo. Para la rápida solución de los problemas se requiere contar con un equipo de reparaciones especialmente preparado en los diferentes tipos de máquinas y equipos dentro de la planta. Los cuatro factores más importantes en el grupo de Mantenimiento Correctivo son [66]:

- El personal.

- El equipo (Maquinaria, herramientas, equipos de medición y control).
- El suministro de repuestos.
- La organización y las actividades de control.

Estos recursos se deben integrar, coordinar y complementar adecuadamente para lograr la eficiencia requerida en las labores urgentes.

El recurso humano tiene que ser apropiadamente explotado, pues es imposible mantener un equipo suficiente para atender todas las solicitudes de inmediato o en cualquier circunstancia; por tanto es deber de una buena dirección decidir el orden de prioridades en la realización de los trabajos, con las personas adecuadas para lograr la minimización de los gastos.

Para conseguir que las cosas se hagan mejor se requiere de estudio, buena información y comunicación, lo que señala la importancia básica de establecer y mantener programas permanentes de capacitación y formación de personal y simultáneamente estudiar, analizar y determinar los procedimientos y métodos de trabajo más eficientes.

Las necesidades de capacitación varían con los requerimientos particulares y se basan en una buena o mala selección de personal, ya que esta es una de las etapas de la organización, que requiere de mayor responsabilidad. El cuidado en la selección debe ser directamente proporcional a la importancia del cargo; por esto la selección de directivos es difícil por cuanto se requiere que sea a la vez buen técnico y buen administrador.

Otro aspecto a considerar es la importancia de que el personal que se envía a efectuar reparaciones este dotado de las herramientas y equipos apropiados para que pueda desempeñar su labor con rapidez y eficiencia; es decir que cuente con los demás recursos físicos en el sitio y momento oportuno, así como un adecuado suministro de repuestos y partes de recambio. Debe también instruírsele acerca de la labor específica a realizar y los procedimientos lógicos a emplear para minimizar la posibilidad de fallas o errores humanos y así poder hacer uso provechoso de los recursos disponibles.

2.1.3 Razones de Alto Mantenimiento Correctivo

Existen siete razones primordiales para tener un excesivo Mantenimiento Correctivo:

- Mantener la maquinaria 100% del tiempo programada para producción
- Permitir tiempos muy limitados para los trabajos de mantenimiento
- Falta de inventario conveniente y económico de refacciones
- Mala calidad de los trabajos por la premura de la realización
- Mala preparación y programación de los trabajos originados por fallas imprevistas
- Mala estimación de la carga de trabajo que se puede llegar a presentar
- Falta de diagnóstico acertado de las causas de las fallas anteriores.

2.1.4 Proceso Resolutivo al Mantenimiento Correctivo

Se debe tener en cuenta los siguientes puntos para un correcto proceso resolutivo de los problemas presentados en Mantenimiento Correctivo:

- Identifique su problema!
- Diagnostique la causa del!
- Proponga soluciones alternativas!
- Evalúe y decida!
- Planee la solución mejor!
- Establezca prioridades, Clasifíquelas!
- Determine carga de trabajo!
- Confronte carga y fuerza de trabajo!
- Programe!
- Dirija y realice!
- Controle y corrija!.

2.2 *EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO*

2.2.1 Conceptos sobre Mantenimiento Preventivo

Son muchas las definiciones que actualmente encontramos del Mantenimiento Preventivo, pero todas ellas se caracterizan porque se interviene el equipo antes de que se presente el paro o falla. Podemos definir el Mantenimiento Preventivo como: El conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos.

Esto significa que un programa de Mantenimiento Preventivo incluye dos actividades básicas:

- Inspección periódica de los equipos de planta, para descubrir las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción.
- Conservar la planta para anular dichos aspectos, adaptarlos o repararlos cuando se encuentren aún en etapa incipiente.

A menudo se considera el Mantenimiento Preventivo como sinónimo de mantenimiento periódico, planeado o dirigido; el Mantenimiento Preventivo debe tener una parte importante de todas estas funciones, pero no el único elemento. En cada empresa de acuerdo a la naturaleza de sus actividades y su sistema productivo, es factible establecer un programa de Mantenimiento Preventivo, que sea de fácil ejecución e implementación; normalmente toda empresa cuenta con los equipos, parte del personal, talleres e instalaciones para llevar a cabo este tipo de mantenimiento.

Para la implantación de un sistema de Mantenimiento Preventivo son necesarias ciertas bases, quizá la más importante es la participación ideológica de todos los sectores involucrados; el éxito de un programa se basa fundamentalmente, en que se venda la idea del Mantenimiento Preventivo a cada uno de los integrantes de la planta, a la Gerencia, a los Ejecutivos de producción, a los Supervisores de mantenimiento y a los técnicos.

Es necesario también, un conocimiento a fondo de lo que conforma el sistema, su metodología y su forma de administración, con miras a obtener el verdadero objetivo del Mantenimiento Preventivo de lograr un menor costo de producción de un producto de calidad. Se requiere una aplicación selectiva del programa de Mantenimiento Preventivo; se considera que es demasiado riesgo aplicarlo a toda la planta de una vez, lo mejor es ir construyendo el programa paso a paso, sin importar lo rápidamente que se pueda integrar; hasta cuando se termine un paso se debe comenzar el siguiente. Una vez que se hagan los programas de inspección y la lista de tareas a realizar, estas se deben ejecutar periódicamente puesto que el desarrollo mismo del programa va dando las pautas para las correcciones a que haya lugar. Es conveniente, también, que una vez implantado el programa sea manejado con suma honestidad, es decir que los trabajos programados sean realizados a conciencia y que los informes se ajusten lo más exactamente posible a las labores desarrolladas.

Cualquier persona que espere los beneficios completos del Mantenimiento Preventivo en forma rápida se desalentará. Es obvio que todo cambio de sistema produce traumas y problemas que deben ser resueltos en la primera fase. Uno de los problemas principales cuando se introduce un sistema de Mantenimiento Preventivo es el aumento del costo de Mantenimiento General puesto que en las primeras inspecciones se encuentra un gran número de fallas que deben ser corregidas, debido al alto deterioro de los equipos que tradicionalmente han sido manejados con base en un Mantenimiento Correctivo. Por eso se recomienda que antes de aplicar el Mantenimiento Preventivo los equipos se deben poner en óptimas condiciones de funcionamiento lo cual implica altos costos por reparaciones generales.

Un plazo prudencial para la implantación de un sistema de Mantenimiento Preventivo es de dos a tres años. La impaciencia puede malograr el sistema, por lo tanto es necesario que todas las personas relacionadas se enteren también de las dificultades que se presentan, para que colaboren en la mejor forma posible para el éxito del programa. Se puede afirmar además que implantar el Mantenimiento Preventivo exige un cambio de mentalidad, una férrea voluntad de hacerlo y un sólido convencimiento de la bondad del sistema.

2.2.2 Ventajas del Mantenimiento Preventivo

Cualquier Programa de Mantenimiento Preventivo bien elaborado y apropiadamente aplicado, produce beneficios que sobrepasan los costos. Entre las múltiples ventajas del mantenimiento Preventivo, las más importantes son las siguientes [25]:

- Reducción de las paradas imprevistas de los equipos. Se disminuye el tiempo ocioso, en relación con todo lo que se refiere a economías y beneficios para la empresa.

- Menor necesidad de reparación en gran escala y menor número de reparaciones repetitivas, por lo tanto, menor acumulación de la fuerza de trabajo de mantenimiento y equipo.
- Menor necesidad del equipo en operación, reduciendo con ello la inversión de capital.
- Cambio del mantenimiento deficiente de “paros” a mantenimiento programado menos costoso, con lo que se logra mejor control del personal, materiales y equipos.
- Disminuye los pagos por tiempo extra de los trabajadores de mantenimiento originados por las reparaciones imprevistas.
- Disminuye los costos de reparaciones de los desperfectos sencillos, realizados antes de los paros imprevistos, debidos a la menor fuerza de trabajo, o a las pocas técnicas empleadas y a la menor cantidad de partes que se necesitan para los paros planeados.
- Reducción de los costos de mantenimiento, de mano de obra y materiales, para las partidas de activos que se encuentran en el programa.
- Mejor control de refacciones, lo cual conduce a tener un inventario menos costoso.
- Aplazamiento o eliminación de los desembolsos por reemplazo prematuro de planta o equipo, debido a la mejor conservación de los activos e incremento de su vida útil probable.
- Menor número de productos rechazados, menos desperdicios, mejor control de calidad, por la correcta adaptación del equipo.
- Menor costo unitario, al aumentar el tiempo útil de producción.
- Mayor seguridad para operarios y maquinaria.
- Facilita el control sistematizado de la programación.
- Es fuente incalculable de valiosos datos estadísticos.

2.2.3 Programas de Mantenimiento Preventivo

En cada industria dependiendo de sus actividades, es posible establecer un programa diferente de Mantenimiento Preventivo. Este varía de acuerdo al tipo de fábrica, plantas dentro de una misma industria, procesos, equipos, sistemas de operación, localización, etc. Un plan de Mantenimiento Preventivo debe ser flexible, dinámico, muy activo y cambiante con las experiencias adquiridas.

Los principales tipos de programas de Mantenimiento Preventivo de aplicación industrial se pueden agrupar en tres:

- **Mantenimiento Preventivo Periódico Permanente.** Es un programa realizado de acuerdo a un orden lógico de actividades de mantenimiento según recomendaciones del fabricante.
- **Mantenimiento Preventivo Periódico Productivo.** Es un programa elaborado en un 100% de acuerdo con las necesidades productivas, se realiza después de elaborar los programas de producción.
- **Mantenimiento Preventivo Periódico Over-Haul.** Es un programa aplicable en las paradas generales de fábricas o empresas que suspenden totalmente las actividades productivas durante una o dos veces al año.

Según las necesidades específicas se recomienda a las diferentes empresas adoptar algún programa de los anteriores. En la fabricación de productos que requieren ser elaborados con continuidad durante las 24 horas del día, generalmente no es aplicable ninguno de los programas, sino que lo recomendable es:

“La elaboración de un programa que considere las necesidades de producción pero con la máxima tendencia a ser del tipo periódico permanente”.

Es necesario concientizar a Producción y a Ingeniería de Mantenimiento de las necesidades de producción y de mantenimiento para que conjuntamente se elaboren los programas de Mantenimiento Preventivo para lograr el mayor provecho posible.

2.2.4 Aplicación de los Programas

Antes de aplicar un programa de mantenimiento Preventivo hay necesidad de cubrir dos etapas fundamentales, que son la programación y la implantación propiamente dicha.

La etapa de programación debe cubrir cuatro actividades importantes:

- **Determinar el orden en que se programa el Mantenimiento Preventivo.** Que es la escogencia de los equipos para determinar en que orden se deben realizar las diferentes actividades de Mantenimiento Preventivo estableciendo además, hojas de vida con los datos técnicos y todas aquellas especificaciones que se juzguen necesarias. Los datos consignados servirán para comprobar las características del equipo cada vez que sean requeridos, y con base en ellos realizar una mejor programación preventiva.
- **Clasificar los Tipos de Programas.** Fundamentalmente en dos grupos, aquellos que no requieren parar el equipo, y los que deben estar acompañados de una parada programada del equipo, pues el tipo de inspecciones necesarias así lo requiere.
- **Preparación del Manual de Inspecciones.** Etapa básica que consiste en recopilar y tener disponible toda la información necesaria para elaborar:

- Instrucciones de montaje
- Instrucciones de operaciones
- Manuales de mantenimiento y
- Formatos de inspección.

Esta información debe ser obtenida por las casas fabricantes, las empresas de servicio especializado, los técnicos especialistas o de las personas más experimentadas en operación y mantenimiento de los respectivos equipos.

La preparación de los manuales es una de las etapas difíciles de la programación del Mantenimiento Preventivo pues a pesar de ser de uso imperativo generalmente son de complicada elaboración por el tiempo y dedicación que exigen y por la experiencia requerida para su ejecución.

- Integración de los Grupos de Trabajo. Según las necesidades específicas los grupos de trabajo deben ser formados de acuerdo con las actividades a desarrollar y la capacitación y entrenamiento requeridos. Cuando se hace con base en el nivel jerárquico, generalmente son de tres tipos:
 - Profesionales experimentados
 - Supervisores o técnicos experimentados
 - Operarios experimentados.

2.2.5 Frecuencia de las Inspecciones

Un aspecto muy importante para lograr una buena programación de Mantenimiento Preventivo es la fijación de las frecuencias de inspección, lo cual influye de manera preponderante en los costos y economías del programa. La decisión de cuan a menudo inspeccionar es fundamentalmente un asunto experimental; la tendencia inicial es la inspección excesiva, la cual aumenta innecesariamente los costos y puede involucrar más tiempo ocioso de producción que un paro de emergencia. Sin embargo, la subinspección produce más paros y descomposturas cuyos costos son mucho mayores que los ahorros en inspecciones. Se necesita por lo tanto un equilibrio óptimo para lograr buenos resultados.

La etapa básica en la fijación del ciclo de frecuencia es el análisis técnico del equipo que tenga en cuenta los siguientes puntos [39]:

- Edad, condición y costo. El equipo más antiguo y con mayor deterioro requiere servicios de inspección más frecuentes, pero siempre con base en el análisis económico que justifique su mantenimiento.
- Severidad del servicio. Según la carga de trabajo de un equipo debe variar la frecuencia de inspección, para equipos idénticos, el de carga más severa requiere ciclos más cortos.

- Requisitos de seguridad. Dependiendo de los riesgos que afectan la seguridad de personas e instalaciones las frecuencias de inspección deben hacerse mayores para disminuir al mínimo las situaciones peligrosas.
- Susceptibilidad de deterioro. Con base a la vida útil probable y las condiciones del medio donde opera el equipo la posibilidad de deterioro varía considerablemente y por lo tanto las frecuencias de inspecciones deben ser mayores para las condiciones más desfavorables.
- Condiciones particulares de operación. Las frecuencias de inspección deben también ajustarse teniendo en cuenta las condiciones de operación para el equipo tomado individualmente, que tiene que ver con sobrecargas, operación inadecuada, vibraciones debidas al tipo de montaje, susceptibilidad de perder los ajustes, etc.

En el proceso de determinación de frecuencias se debe adicionalmente, revisar las recomendaciones de los fabricantes para fijar las condiciones propias de la planta y mientras no se tengan motivos suficientemente justificados lo mejor es seguir esas recomendaciones.

2.2.6 Implantación de un Sistema Preventivo

Para la implantación de un sistema de Mantenimiento Preventivo es tan importante el desarrollo del programa, como el vender la idea del plan, a cada uno de los integrantes de la planta, desde la Gerencia Superior hasta el personal de Mantenimiento y Producción, para lograr el convencimiento sobre la conveniencia del programa, de todos los interesados.

Con base en lo anterior podemos decir que en la implantación de un sistema de Mantenimiento Preventivo se requieren cuatro condiciones:

2.2.6.1 Vender la Idea del Plan. En primer lugar a la Gerencia, cuyo apoyo posterior influirá en el éxito del programa. Siguiendo el orden jerárquico, a los superintendentes y jefes de otros departamentos, para continuar con el personal de producción, de mantenimiento y en general de todos los interesados.

2.2.6.2 Crear Conciencia Sobre los Beneficios del Sistema. Se requiere por tanto, el convencimiento de todo el personal relacionado, de la conveniencia para la empresa de la implantación del programa, y de esta forma, obtener una decidida colaboración.

2.2.6.3 Establecer Técnicamente los Programas de Inspección. Para que cualquier programa sea una realidad, es indispensable que haya sido técnicamente bien elaborado en cuanto a tipos de inspecciones y periodicidad se refiere; que sea encausado y dirigido en su ejecución por supervisores que conozcan los equipos y que sea ejecutado por operarios diestros, cuidadosos y responsables.

2.2.6.4 Diseñar Controles Efectivos para el Programa. Una vez establecido el sistema, lo indispensable es su control para que haya continuidad de su desarrollo, revisiones oportunas y evaluaciones con la adecuada periodicidad.

Un eficiente control del sistema debe incluir [16]:

- Cumplimiento estricto de los programas sin interrupción
- Ubicación adecuada de los puntos y medios de control
- Responsabilidad en el manejo de los programas de Mantenimiento Preventivo
- Procedimiento para control de los costos de mantenimiento.

Adicionalmente, a las condiciones enumeradas, se puede decir que para la implantación de un programa es indispensable el acuerdo con producción, que se debe basar en un informe del estado real de la maquinaria y el cumplimiento de los plazos estipulados para mantenimiento con base al análisis detallado que permita a producción decidir hasta donde pueden llegar los trabajos para cumplir eficazmente los programas productivos.

Para lograr el acuerdo mencionado y diseñar un apropiado sistema preventivo, finalmente, debemos tener siempre en cuenta las siguientes premisas que son válidas para programación de producción y mantenimiento [29]:

- Producción es el dueño de los equipos
- Todo equipo requiere mantenimiento y sin él no se puede producir
- Mantenimiento debe, en lo posible, intervenir en la planeación de producción
- La finalidad del mantenimiento es permitir la máxima producción, pero con la calidad requerida
- Son necesarios los buenos planeadores, pero son más indispensables los buenos ejecutores
- Mantenimiento siempre debe dar el visto bueno a todos los materiales requeridos para mantenimiento
- Debe existir completa comunicación entre producción y mantenimiento.

2.2.7 El Sistema L. E. M.

Una detallada investigación realizada en los años 50 sobre el estado del mantenimiento en las Empresas Latinoamericanas llevó al Ingeniero John G. Castles al diseño y definición de un nuevo sistema de Mantenimiento Preventivo aplicable a este tipo de industrias que se debía basar fundamentalmente en tres puntos[16]:

- Ser de fácil administración
- Ser de fácil organización
- Ser de fácil comprensión.

El sistema desarrollado lo denominó Sistema L.E.M. y lo aplicó inicialmente en las plantas de refinación de Plomo y Cobre en la Oroya, Perú, hacia 1960.

La fundamentación del sistema implica la prestación de servicios adecuados y oportunos a los diferentes equipos de acuerdo con tres grupos de labores principales que se codifican con las letras L. E. y M. Al primer grupo corresponden las actividades de Lubricación, al segundo las de

Mantenimiento Eléctrico y Electrónico y al tercero las de Mantenimiento Mecánico cuyas iniciales dieron origen al nombre del sistema.

Las labores a realizar en cada grupo son el resultado de un minucioso análisis de los equipos, sus componentes y su operación, la cual se complementa en lo posible con las recomendaciones de los fabricantes en cuanto a lubricación y frecuencia de las revisiones, que aparecen normalmente en los manuales de operación y mantenimiento.

El sistema de control se hace mediante la elaboración de una tarjeta por equipo que contiene además de los datos técnicos, todos los elementos necesarios para poder elaborar los programas semanales de trabajo, los cuales se revisarán con esta periodicidad y se programarán según los resultados semestrales o anuales.

Mediante el sistema de Mantenimiento L.E.M. se determina para cada uno de los tres grupos de actividades, que operación de mantenimiento específica debe hacerse a cada equipo (consignada en el manual de Mantenimiento Preventivo), con qué frecuencia y cuanto tiempo toma realizarla (consignado en la tarjeta maestra respectiva). Con los datos anteriores correctamente diligenciados se permite a producción conocer cuántas horas debe destinar al mantenimiento de su equipo en el año, para programar su operación en consecuencia; y al departamento de Mantenimiento conocer las horas - hombre necesarias por equipo para determinar las necesidades de personal para Mantenimiento Preventivo.

En la década del 70 el sistema L.E.M. ha sido implementado en algunas industrias Colombianas y ha obtenido un desarrollo importante en los últimos veinte años con la utilización del procesamiento automático de datos, que permite un manejo más eficiente de la información de los programas, facilitando su análisis, control y registro de estadísticas.

2.3 EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

2.3.1 ¿Qué es el Mantenimiento Predictivo?

En los últimos años se ha venido aumentando notoriamente en la industria, la aplicación del Mantenimiento Predictivo como complemento fundamental del mantenimiento preventivo y correctivo. Este incremento responde a diversidad de factores entre los que podemos enumerar, los nuevos desarrollos tecnológicos en equipos de diagnóstico, medición y control; la tecnificación de la producción en líneas de proceso continuo, las máquinas modernas altamente costosas e interdependientes, los altos costos de repuestos y reposición de equipos, y especialmente el que se ha logrado un alto grado de concientización sobre los costos de los paros de producción.

El Mantenimiento Predictivo basado en la utilización de equipos de diagnóstico para el análisis de fallas es la respuesta conveniente para la conservación económica de los equipos y la minimización de las paradas.

El sistema de Mantenimiento Predictivo se define como "El conjunto de actividades, programadas para detectar las fallas de los equipos por revelación antes que sucedan, con los equipos en operación y sin perjuicio de la producción, usando aparatos de diagnóstico y pruebas no destructivas" [17].

Aunque existen diversas técnicas adicionales de aplicación del Mantenimiento Predictivo como la Radiografía, la Termografía o la Termovisión, el Mecanálisis de Ruidos y otras pruebas no destructivas, se ha generalizado que el Mantenimiento Predictivo está basado en la medición y análisis de vibraciones, y que toma como principio el hecho de que si una máquina se encuentra en buenas condiciones de operación no debe ser intervenida.

Las vibraciones representan una medida excelente para evaluar las condiciones mecánicas de un equipo; antes que una causa, la vibración es un síntoma de una falla potencial, cuyo origen se puede determinar mediante el análisis espectral de la frecuencia de vibración. El nivel de vibración es un indicador tan importante del estado de la maquinaria, como lo es la temperatura del cuerpo para el ser humano; cualquier cambio o anomalía en el nivel de vibración indica sin lugar a dudas cambio y posible deterioro en las condiciones de la maquinaria. Por lo tanto, un análisis comparativo de éstos cambios, en el cual los niveles de vibración son confrontados con patrones preestablecidos, permite a través de una técnica confiable, lógica y probada diagnosticar el defecto específico; mediante la frecuencia se determina el tipo de falla, mientras que la amplitud de las mediciones sirve para determinar la severidad del daño, con un alto grado de exactitud.

En forma generalizada un programa de Mantenimiento Predictivo consiste en llevar un control periódico de los niveles de vibración para cada equipo, teniendo como parámetros de medición, las características de vibración, la variación de temperaturas y el aumento del consumo de energía. Los elementos característicos de una señal de vibración son: Su frecuencia, su ángulo de fase y su amplitud, esta última puede ser medida como un desplazamiento, velocidad o aceleración. Como cada máquina tiene preestablecidos sus parámetros de funcionamiento en condiciones óptimas y sus límites permitidos de vibración, cuando éstos patrones varían indican los cambios en las condiciones de funcionamiento del equipo, que al ser analizados determinan las medidas correctivas que se deben tomar, programando la reparación u operación del equipo con el conocimiento real de sus necesidades.

2.3.2 Mantenimiento Preventivo contra Mantenimiento Predictivo

Debido al alto costo de inversión, reparación y remplazo, así como la alta interdependencia en los procesos productivos de las máquinas modernas, su protección ha llegado a tener la máxima prioridad. Esto significa mantener las máquinas en óptimas condiciones y pararlas solamente cuando sea indispensable. Para esto se requiere la capacidad de detectar problemas en su primera etapa de formación antes de que se aumenten lo suficiente para originar los daños.

Como una actividad fundamental en la protección de maquinaria, se introdujo hace ya bastante tiempo, el sistema de Mantenimiento Preventivo, que como se trato anteriormente, consiste en inspeccionar las máquinas periódicamente, en lapsos de tiempo estimados con base en estadísticas y fruto de la observación y experiencia del personal encargado. Sin embargo para que la inspección

permita determinar el estado de funcionamiento real del equipo e identificar sus fallas, es necesario que esta sea una inspección abierta, que en muchos casos se convierta en el mayor inconveniente del sistema y que no se presenta en el mantenimiento predictivo.

En las inspecciones preventivas cuando una máquina se encuentra operando en condiciones aceptables, se desarma y se vuelve a armar, por experiencia se ha demostrado que en más del 20% de los casos se introducen defectos que inicialmente no se tenían y que darán origen a fallas prematuras, que no se hubieran presentado si no se realiza la inspección.

Con el Mantenimiento Predictivo el uso de Sensómetros, Acelerómetros y demás instrumentos de diagnóstico, se evita el problema nombrado y se evitan las paradas preventivas, con lo cual se protege la maquinaria, en el aspecto de disponibilidad productiva principalmente.

Otro aspecto importante a considerar en la comparación de los dos sistemas de Mantenimiento es el concerniente al costo y gasto del inventario de refacciones, que en las actividades preventivas en la mayoría de los casos, se aumenta considerablemente, por cuanto muchas partes son cambiadas antes del término de su vida útil segura, para prevenir las fallas. Mediante el análisis predictivo las partes de recambio serán reemplazadas acertadamente solo cuando están próximas a presentar fallas, es decir lográndose su máxima utilización, que se traduce en protección de las utilidades. El principio de operación del sistema predictivo dice por tanto, que solamente se interviene una máquina, cuando los instrumentos detectan una próxima falla de un rango específico de severidad.

Con el Mantenimiento Preventivo se tiene tendencia a realizar sobre mantenimiento si se cuenta con los recursos, o a realizar las inspecciones superficialmente permitiendo las fallas, cuando el personal es insuficiente o no esta debidamente capacitado. Mediante el Mantenimiento Predictivo se logra programar con suficiente antelación el mantenimiento estrictamente necesario, y de esta manera disminuir y controlar los gastos de departamento.

2.3.3 Beneficios del Mantenimiento Predictivo

La inversión que se haga en mantenimiento predictivo es totalmente justificada, si se logra el objetivo fundamental del programa con los siguientes ahorros derivados de los beneficios generales, entre los cuales podemos considerar:

- La detección precoz de fallas incipientes que convierten los daños en rutinas programadas de mantenimiento.
- La eliminación de las inspecciones periódicas de Mantenimiento preventivo, en que hay que desarmar los equipos.
- Aumento del período entre revisiones detalladas e inspecciones generales de mantenimiento preventivo.
- Eliminación casi total de las fallas inesperadas, lo cual se refleja en una mayor productividad.
- Aumento del factor de servicio por determinación de la severidad de los problemas y disminución del tiempo de paro necesario para hacer las reparaciones debidamente programadas.

- Ahorro y disminución del inventario de repuestos, ya que estos se reemplazan solamente cuando se les ha agotado su vida útil.
- Corrección a tiempo de muchos problemas de montaje que producen fallas recurrentes en la maquinaria.
- Reducción del número de equipos iguales en Stand-by gracias al incremento de la confiabilidad de los que se encuentren en operación.
- Ahorro apreciable en los consumos de energía de los equipos, cuando trabajan en óptimas condiciones.
- Garantía del cumplimiento de las características de diseño y aumento general de la seguridad de equipos e instalaciones.

Cuando se ha logrado crear conciencia de los beneficios del sistema y se ha tomado la decisión de implantarlo, al evaluar las alternativas se debe tener en cuenta además, que debido a la existencia de múltiples métodos y equipos para la medición de vibraciones, todos ellos tienen características diferentes. Los equipos portátiles ofrecen menor protección a menor costo, mientras que los automáticos más sofisticados protegen muy bien las máquinas a un precio considerablemente mayor, pero para cada planta y proceso hay un sistema de medición que efectivamente puede salvar a la empresa de millonarias pérdidas al no incluir en su mantenimiento las técnicas modernas del Mantenimiento Predictivo.

2.3.4 Implementación del Mantenimiento Predictivo

Para la implementación de un sistema de Mantenimiento Predictivo, que lógicamente supone una inversión relativamente considerable, se debe hacer un estudio particularizado de las condiciones de la empresa y un análisis concienzudo, que evalúe y resuelva las alternativas iniciales basándose en los siguientes puntos [50]:

2.3.4.1 Establecimiento de la Necesidad del Sistema. Para ello se requiere un análisis detallado utilizando dos criterios fundamentales:

- Criterio económico
- Criterio estratégico.

El criterio económico analiza los costos del mantenimiento en función de sus tres componentes:

- Costo de mano de obra
- Costo de equipos y repuestos
- Costo de producción perdida.

El análisis de costos relaciona la inversión en mantenimiento, como costos directos y costo del tiempo perdido, y cuando éste último es muy alto se justifican un aumento en la inversión, ya que el costo mínimo total ocurre cuando el costo anual, o de un período de tiempo seleccionado, de la producción perdida es aproximadamente igual a la suma del costo anual del personal y demás recursos físicos. (Figura 2).

El criterio estratégico evalúa la incidencia de diversos factores en la empresa entre los que podemos destacar:

- Volumen de paradas
- Volumen de maquinaria importante
- Comportamiento de los equipos con el deterioro
- Recursos actuales para mantenimiento
- Interdependencia de los equipos en el proceso productivo.

Estos factores, asociados al tamaño y desarrollo tecnológico de la empresa, permiten justificar la adopción del sistema.

2.3.4.2 Ajuste de la Estructura Organizativa del Departamento. Se requiere separar el personal de Mantenimiento predictivo del grupo de Mantenimiento Correctivo. Para poder llevar a cabo las inspecciones programadas se necesita personal disponible y bien capacitado en la nueva tecnología; de cualquier otra forma, la urgencia de las operaciones correctivas impiden realizar las labores preventivas y predictivas.

Cuando la programación de actividades predictivas no es suficiente para copar el personal asignado se puede balancear la carga de trabajo con operaciones de programación y control, u otras labores de Ingeniería de Mantenimiento.

2.3.4.3 Evaluación de las Diferentes Alternativas de Operación. Existen cuatro alternativas de operación para la implantación de un sistema de Mantenimiento Predictivo.

- Contratación del servicio. Es la opción más sencilla y efectiva ya que no requiere gran inversión y capacitación inicial, y existen las empresas especializadas en la prestación del servicio. Esta alternativa además de ágil, cumple los propósitos de información, capacitación y prueba, para determinar los beneficios del sistema en forma práctica, y analizar su posible implantación posterior por parte de la empresa.
- Medición de variaciones mas servicio de análisis. Es la segunda posibilidad en la implantación del sistema y consiste básicamente en la adquisición por parte de la empresa de equipos de diagnóstico sencillos y de bajo costo, para tomar mediciones en el ámbito general, y poder determinar por la severidad de las vibraciones cuando se requiere solicitar el servicio de análisis más detallado. Esta alternativa tiene como ventajas principales, la menor dependencia del servicio exterior y vincular al personal propio con la nueva tecnología.
- Medición y grabación de vibraciones mas servicio de análisis. Esta posibilidad presenta una etapa más avanzada que la alternativa anterior y acentúa sus ventajas. Consiste en adicionar una grabadora especializada al equipo de análisis, para grabar los parámetros medidos y enviar al servicio de diagnóstico exterior el cassette con la señal que se requiere analizar. Esta etapa de la programación y control de las inspecciones se hace completamente por parte de la empresa y

solamente se requiere contratar el servicio de análisis especializado, mientras se entrena y capacita al personal propio.

- Medición y análisis con equipos propios. Es el nivel más complejo de la implementación, requiere de la adquisición del equipo de análisis apropiado y la asignación de personal previamente capacitado para su operación. En esta alternativa se considera el equipo de análisis como un elemento integrante del sistema de mantenimiento y se justifica la inversión cuando se desea eliminar las paradas de planta por el alto costo de tiempo perdido.

La decisión de la alternativa más aconsejable se debe basar en un análisis económico apropiado de acuerdo con las condiciones particulares de la maquinaria, tipo de proceso y tamaño de la empresa.

2.3.4.4 Determinación del Sistema de Control. El control periódico de los niveles de vibración puede llevarse a cabo de diferentes formas y con diferentes niveles de instrumentación de acuerdo con la alternativa seleccionada. Para ello se recomienda clasificar los equipos a incluir en el programa dentro de las tres categorías fundamentales [17]:

- Máquinas de propósito general (no críticas). Requieren medidores de vibración simple y analizadores de espectro; estos equipos pueden ser inspeccionados por un técnico experimentado, que si encuentra vibraciones anormales reporta la necesidad de una inspección más profunda.
- Máquinas mayores o semicríticas. Debido a que su falla causa paradas mayores, requiere analizadores de tiempo real (RTA) y utilización de monitores con una frecuencia al menos bimensual; estos equipos pueden ser manejados por un Ingeniero principiante o un técnico bien entrenado que cuando encuentre condiciones anormales debe incrementar el control mientras llega el momento de la reparación.
- Máquinas críticas. Debido a que su falla causa paradas críticas de producción requieren en lo posible medición continua con Acelerómetros fijos, o análisis de vibración en línea con equipos RTA automáticos con pantalla y sistemas de monitores soportados con procesadores de diagnóstico, con una frecuencia al menos mensual. La maquinaria crítica debe ser analizada por ingenieros de Mantenimiento Predictivo, quienes además deben registrar las condiciones de trabajo, temperaturas, velocidades, presiones, consumo de energía y demás variables del proceso que son auxiliares para un correcto diagnóstico.

Después de la determinación del sistema de control más adecuado y la asignación de las correspondientes responsabilidades se recomienda, la utilización permanente de los servicios de información técnica que suministran sobre esta nueva tecnología, las asociaciones y entidades especializadas (API, ASME, NEMA, EPRI, VIBRATION INSTITUTE, etc.), y la capacitación dada por los fabricantes y distribuidores de equipos de diagnóstico. Finalmente, un sistema de control adecuado sirve para lograr en poco tiempo una cuantificación real de los beneficios del sistema predictivo.

2.3.5 El Análisis Vibracional

2.3.5.1 Principios Generales. Las vibraciones que ocurren en la maquinaria rotatoria principalmente, son el resultado de defectos mecánicos, causas inherentes a su forma de operación, o proceder de fuentes exteriores.

La vibración es un movimiento oscilatorio, trepidatorio o de vaivén, de la máquina o de un elemento de la misma, apartándose de su posición de reposo. Un ejemplo simple para apreciar la vibración es seguir el movimiento de un peso suspendido en un resorte, cuando se le aplica una fuerza que lo desplaza de su punto de equilibrio al cual tiende a regresar, pero generalmente lo hace con una cierta velocidad y lo sobrepasa hasta llegar a un punto límite y regresar, rebasando nuevamente, en sentido inverso la posición neutral. La masa continuará vibrando y gradualmente disminuye su amplitud debido a las pérdidas de fricción.

La vibración en un sentido más amplio, es un movimiento periódico, que se reproduce con todas sus características, en un intervalo de tiempo denominado periodo. Mientras que no exista una fuerza de excitación, no habrá vibración; cuando esta fuerza se remueve; la maquinaria o elemento vibra a una frecuencia natural, determinada por la relación de masa y elasticidad. La vibración es libre si una vez removida la excitación, el movimiento oscilatorio continúa, y es forzada si el movimiento vibratorio persiste debido a la existencia de la fuerza excitadora.

Analizando la relación entre el movimiento del peso en el resorte, contra el tiempo transcurrido, se tiene la posibilidad de estudiar los detalles característicos de la vibración.

El tiempo requerido para el recorrido completo de un ciclo, equivale al periodo de la vibración. El número de ciclos por la unidad de tiempo es la frecuencia de la vibración. El desplazamiento total recorrido en sentido de la oscilación es la amplitud de la vibración. Mientras el peso esté en movimiento, tiene que hacerlo a cierta velocidad, pero esta velocidad varía con la posición, en los límites de la carrera la velocidad es cero, alcanzando su valor máximo al pasar por el punto neutro. La posición en cualquier instante dado, tomando un punto fijo de referencia es la fase de la vibración, o, medida de una porción de círculo expresado en grados.

Las características de la vibración que se mide con más frecuencia son [11]:

- La amplitud
- La frecuencia
- La fase.

La amplitud máxima y la velocidad nos revelan la intensidad de las vibraciones presentes e indican hasta que grado son buenas o malas las condiciones de la máquina. La frecuencia nos revela la causa que origina la falla, y por tanto es la característica más importante de las mediciones. Si se compara con la velocidad de rotación, o múltiplos de esta se puede determinar que parte ocasiona la vibración y la causa del defecto. La fase se emplea para el balanceo o equilibrio, y es también un factor muy útil para precisar las causas de la vibración.

Las causas de las vibraciones provienen de los cambios constantes de una fuerza que modifica continuamente su dirección y su intensidad. Las fluctuaciones de esta fuerza dan origen a la vibración y las características resultantes se determinan por el reconocimiento de la forma en que es generada esta fuerza.

El movimiento rotatorio de las correspondientes partes de las máquinas da origen a las fuerzas generadoras que cambian de intensidad y dirección en la misma forma que la parte móvil cambia su posición; por esto las vibraciones tienen una frecuencia directamente dependiente de la velocidad de rotación de la parte que presenta el defecto, y con esta frecuencia se determina la parte afectada por el desperfecto.

El procedimiento para determinar las características de las vibraciones es llamado análisis de vibraciones; este análisis espectral de la frecuencia de la maquinaria, proporciona registros detallados altamente definidos de las características mecánicas, y es la base para la formulación de diagnósticos y para la toma de decisiones. Estadísticamente se ha confirmado que hay tres problemas predominantes que son responsables de más del 80% de las fallas de maquinaria que son:

- El desbalanceo
- El desalineamiento
- La inestabilidad de cojinetes.

Dichos problemas, los cuales conducen secuencialmente a vibraciones, usando el equipo apropiado, pueden ser analizados para detectar y hacer un correcto diagnóstico de:

- Defectos de montaje
- Problemas de acoples
- Problemas de piñones
- Problemas de sellos
- Giro de aceite
- Fenómenos críticos
- Resonancia
- Excitación aerodinámica
- Pulsaciones
- Excitación eléctrica
- Fuerzas electromagnéticas
- Desajustes generales y rozamiento.

2.3.5.2 Variables de Proceso. Para determinar y mejorar los rendimientos de las máquinas, hay que controlar no solo los parámetros de vibración, sino que se pueden controlar otras variables igualmente importantes que se denominan "variables de proceso" las cuales son medibles, y proveen la información concerniente a toda la unidad [48].

Las variables de proceso principales son:

- Temperatura
- Presión
- Flujo o caudal
- Amperaje
- Potencia, etc.

Sin embargo, lo que realmente interesa es evaluar la condición mecánica de funcionamiento de la unidad y los parámetros que más se usan son:

- Vibración
- Temperatura
- Posición relativa de los componentes móviles con respecto a los estáticos.

Las variables de proceso, serán por lo tanto correlacionadas para lograr una protección efectiva de las máquinas, con base a la predicción de las causas de los daños. Cuando se instalan monitores de vibraciones estos adicionalmente, traen los monitores para las otras variables de proceso. Normalmente se controlan:

- Vibración
- Frecuencia
- Angulo de fase
- Forma de vibración
- Modos de vibración
- RPM
- Temperaturas
- Excentricidades
- Posición de axial
- Expansión de carcasas y diferenciales.

Una unidad protegida con la instrucción adecuada, genera la información necesaria, para definir realmente lo que ocurre en la unidad, y que acciones se requieren para corregir el defecto. Sin embargo el monitoreo puede ser controlado con computadores, que no solo procesan la información, sino que pueden generar los diagnósticos, emitir diagramas de Cascada, diagramas Polares, diagramas de Bode y Nyquist que son de mayor importancia para los análisis, con lo cual se logra predecir hasta la fecha de la posible falla; y de esta forma se puede procesar la información y planificar la parada del equipo en armonía con producción.

3. EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO

3.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO

Las empresas industriales día a día han ido reconociendo el importante papel que desempeña el mantenimiento para sostener los niveles de producción. Además de la responsabilidad básica de garantizar el funcionamiento total y permanente de equipos e instalaciones, la gerencia de mantenimiento tiene como reto lograr la optimización de todas sus actividades aplicando los procedimientos y estrategias más convenientes.

Después de la Segunda Guerra mundial los japoneses se concientizaron de la necesidad de mejorar la calidad de sus productos con el lema “Yo soy responsable de mi propio equipo”, adaptado de técnicas de gestión, fabricación y mantenimiento de los Estados Unidos, logrando excelentes resultados.

Antes de los años 50, el mantenimiento era exclusivamente de averías. En los años 50 el mantenimiento preventivo estableció sólo funciones de mantenimiento, con tendencia hacia el mantenimiento productivo y mejora de mantenibilidad. Ya en los años 60 el auge fue para el mantenimiento productivo basado en la prevención y predicción de averías, ingeniería de fiabilidad, de mantenibilidad y económica. Pero ya en los años 70 apareció el mantenimiento productivo total TPM basado en el respeto a las personas y participación total de los empleados con la ayuda de las ciencias del comportamiento, Ingeniería de Sistemas, Ecología, Tecnología y Logística.

3.2 LA PRODÚCTICA EN EL MANTENIMIENTO

Un aporte significativo al desarrollo nacional es la aplicación de la Productiva al aparato productivo del país, cuyo concepto básico se muestra en la Figura 3, y tiene como objetivo fundamental incrementar la competitividad de las empresas logrando aumentos considerables de su productividad, mediante la utilización de las herramientas que la Productiva pone al servicio de la industria, mostradas en la Figura 4. [41].

La productividad depende de la calidad de la gestión técnica y la gestión administrativa del proceso productivo (léase ciclo productivo) mostrado en su forma más simplificada en la Figura 5.

El concepto básico de mantenimiento productivo lo define como el sistema mediante el cual es posible cuantificar dentro del campo económico, el grado de incidencia de los diferentes aspectos del mantenimiento en la generación de las utilidades de la empresa [11]. La mejor forma de maximizar la utilidad de un período productivo es aumentando el volumen de producción para minimizar los costos unitarios de fabricación, es decir logrando mayor productividad.

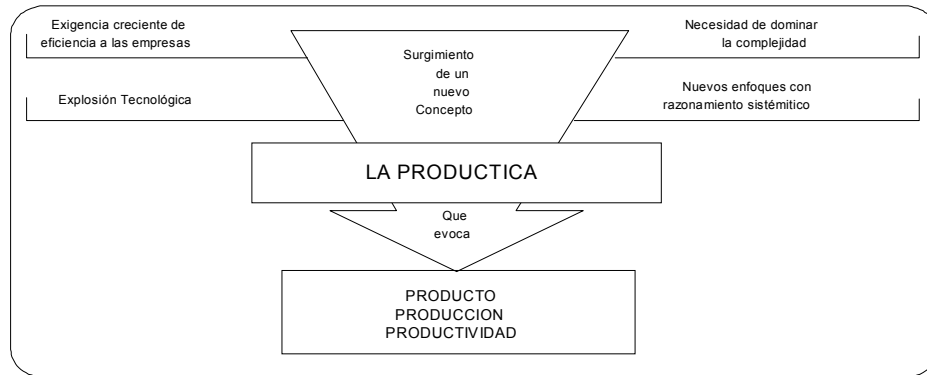


Figura 3. La Productica

La productividad es la relación entre el logro obtenido por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados, es decir el cociente entre el producto y el insumo. Incrementar la productividad significa obtener el máximo volumen de producción, cumpliendo con la condición de lograr la optimización en el uso total de los recursos, con la máxima eficiencia, y eficacia posible.

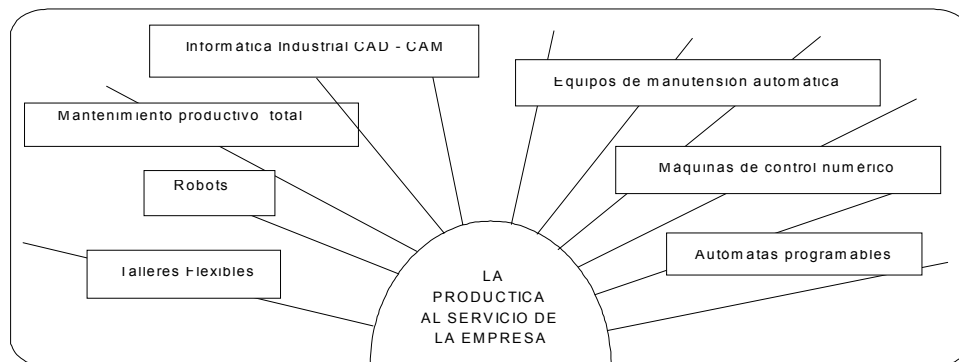


Figura 4. Herramientas de La Productica

En términos industriales una definición genérica de productividad podría ser: "Producir lo máximo con calidad aceptable, al menor costo posible, en forma racional, permanente y con sentido integral" [2].

Producir al máximo tiene sus limitaciones, puesto que en la práctica se esta en función de recursos, los cuales están restringidos por un tope racional de servicio, o disponibilidad, que debe ser controlado en el tiempo, para no sacrificar en un momento dado niveles de producción o de gastos que pueden ser perjudiciales para el futuro. Se puede decir entonces, que la productividad no conviene practicarse en forma extrema sino en forma racional, no debe ser instantánea sino permanente y su objetivo debe entenderse de manera integral.

El concepto de productividad es cada día más complejo, pues implica el uso eficiente de los siguientes recursos:

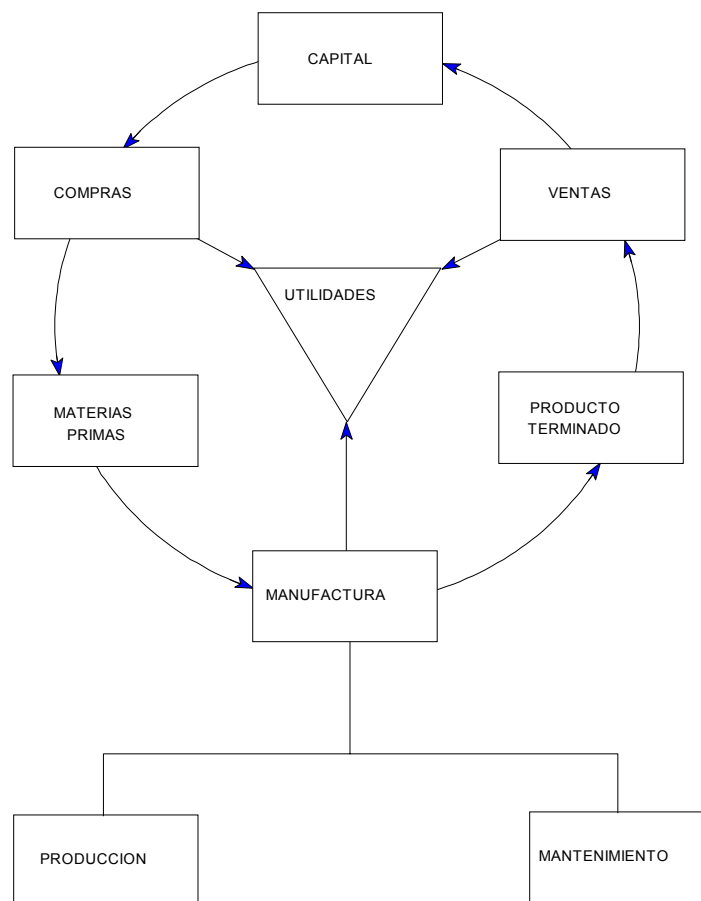


Figura 5. El Ciclo Productivo

- La mano de obra
- El tiempo
- La energía
- Las materias primas

- Los equipos
- Los presupuestos
- Las estructuras administrativas
- Las mejoras tecnológicas
- Los sistemas de información.

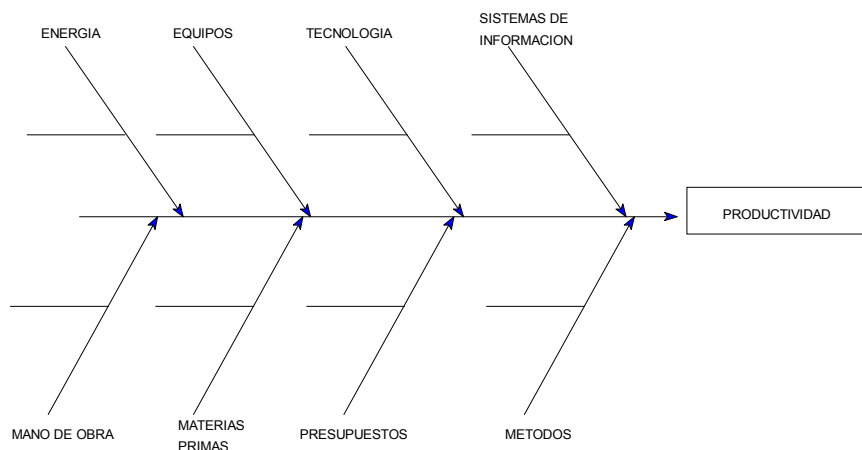


Figura 6. Recursos de Productividad

Como se puede observar, el logro de alta productividad es un compromiso de los diferentes organismos de la empresa, para lo cual es necesario la fijación clara de las responsabilidades de acuerdo con su grado de incidencia.

La relación del mantenimiento con respecto a la productividad varía de acuerdo al tipo de industria. De todas formas para las empresas cuya producción depende del buen estado de su maquinaria, el mantenimiento es la función que más tiene relación con la productividad, si se tiene en cuenta que influye representativamente sobre todos sus parámetros. Esta relación será positiva o negativa, en mayor o menor grado, dependiendo de la índole, calidad y eficiencia con que se implante el mantenimiento productivo.

La responsabilidad del mantenimiento con respecto a la productividad es proporcional al grado de mecanización, automatización e interdependencia del sistema productivo. El mantenimiento será de mayor nivel productivo, entre más se favorezca la maximización racional y permanente de los términos que determinan un mayor volumen de producción a menor costo. Por esto las acciones de mantenimiento respecto a la productividad resultan complejas, pues afectan simultáneamente y de diferente manera cada uno de sus parámetros, y además las acciones del presente repercuten en las acciones del futuro.

Entre las actividades más importantes a tener en cuenta para el adecuado desarrollo del mantenimiento productivo se pueden enumerar (Figura 7):

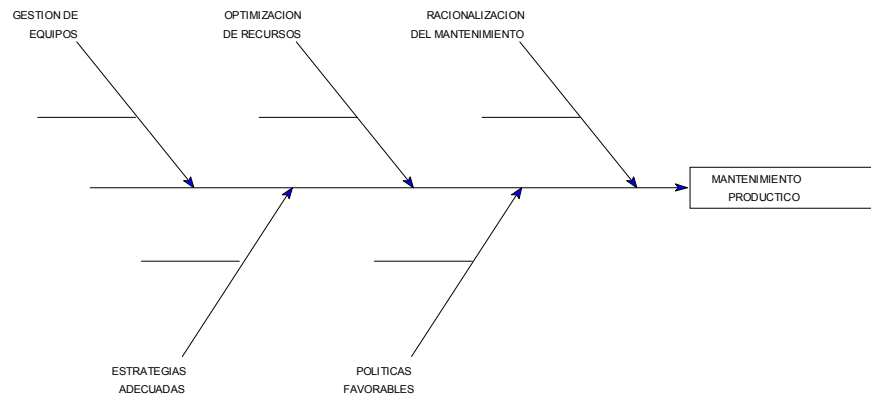


Figura 7. Actividades del Mantenimiento Productivo

- Evitación del mantenimiento. Mediante la adecuada aplicación de programas de mantenimiento preventivo y predictivo, control de calidad de los trabajos, aplicación de mejoras tecnológicas y selección y adquisición de nuevos equipos.
- Racionalización del mantenimiento. Que comprende la clasificación y conocimiento de la maquinaria, adecuada inspección y análisis de los equipos, y la aplicación sistemática del mantenimiento.
- Aprovechamiento de recursos. Incluye la planeación, integración y control más favorable de los recursos disponibles, así como el aprovechamiento de experiencias e información técnica.
- Utilización de estrategias adecuadas. Entre las que se pueden nombrar la determinación de prioridades, estandarización de equipos, modelos matemáticos, círculos de participación y control de calidad.
- Aplicación de políticas favorables. Tendientes a maximizar la productividad, como la administración por objetivos, planeación estratégica, organización jerárquica propia y coordinación e integración de mantenimiento y producción [11].

3.3 FACTORES DE PRODUCTIVIDAD

La productividad fundamentalmente es un instrumento comparativo. Es el uso más intensivo, no más intenso, de los recursos. Con base en la productividad se hacen las comparaciones entre los diferentes países, cuya importancia depende de un mayor o menor grado de productividad, que hace la diferencia entre unos y otros. La esencia del mejoramiento de la productividad es trabajar más inteligentemente, no trabajar en forma más dura.

La productividad tiene importancia relevante en lo que atañe al mejoramiento de los niveles de vida del personal involucrado, de la entidad, la región y el país, pues es factor determinante de la competitividad internacional; una baja productividad produce devaluación e inflación lo que se traduce en desempleo y pobreza con las consiguientes pérdidas económicas.

Son múltiples los factores que determinan la productividad en una empresa. Estos se pueden clasificar en dos grandes grupos [7]:

- Factores internos
- Factores externos.

A su vez, los factores internos se pueden clasificar en factores duros y factores blandos. Los factores duros o difícilmente modificables más importantes son:

- Los productos
- La planta y equipos
- La tecnología
- Las materias primas
- La energía disponible.

Los factores blandos, que son más flexibles son:

- El personal
- La organización y sistemas
- Los métodos de trabajo
- Tipos de dirección y control.

Los factores externos son de diversa índole y varían con el tipo de empresa, de acuerdo con su relación con el entorno sociocultural o económico, los más importantes son:

- Recursos naturales
- Ajustes estructurales
- Economía Internacional
- Sistemas de administración pública
- Infraestructura social.

Todos estos factores en mayor o menor grado influyen en la productividad de una empresa y deben ser adecuadamente aprovechados o correlacionados para lograr una mayor eficiencia productiva. Pero adicionalmente dentro de toda industria existen elementos, técnicas y áreas esenciales sobre las que se debe trabajar para obtener mejoras substanciales de productividad.

Una mayor productividad de la planta y el equipo se puede lograr mediante [8]:

- Un buen mantenimiento
- El funcionamiento óptimo de máquinas y equipos

- La eliminación de cuellos de botella
- La reducción del tiempo perdido
- El incremento de la capacidad productiva de los equipos.

Las áreas esenciales para mejorar la productividad tiene relación directa con el uso más eficiente posible de los recursos disponibles, tanto materiales como humanos. Se logra un mejor empleo de los recursos de capital mediante:

- Adecuado ahorro de energía
- Mejora de la eficiencia del mantenimiento
- Mejora de la calidad del producto.

Una gestión eficaz de los recursos humanos se logra mediante la aplicación conveniente de las técnicas de:

- Dirección
- Participación
- Capacitación
- Motivación.

3.4 HERRAMIENTAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD

Son múltiples las herramientas de que se puede valer el Mantenimiento Productivo Total para mejorar la productividad del mantenimiento. Las seis que tienen mayor influencia directa para el logro del objetivo son [28]:

3.4.1 El método Justo a Tiempo

El sistema Justo a Tiempo (JAT), o método de eliminación del desperdicio es la producción, entrega o consumo, de los elementos necesarios, en la cantidad necesaria y en el momento oportuno.

3.4.2 El Estudio y Simplificación del Trabajo

Comprende el estudio de métodos, y las técnicas de medición del trabajo. Mediante el estudio de métodos se logra eliminar o reducir los movimientos innecesarios y mediante la medición del trabajo se ayuda a eliminar los tiempos improductivos o no utilizados.

La Simplificación del Trabajo se logra mediante la capacitación de los trabajadores, que les permita pensar y obrar creativamente, y mediante incentivación y motivación para que introduzcan mejoras.

3.4.3 Análisis del valor

El Análisis de Valor es el enfoque organizado y creativo para determinar todos los costos innecesarios en un producto o servicio. Se utiliza primordialmente para descubrir los costos excesivos, para mejorar el rendimiento a un costo inferior.

La ingeniería del valor se ocupa del desarrollo de nuevos diseños para productos o servicios con hincapié específico en la calidad y la facilidad de uso y con el objeto de reducir el costo global de manufactura o de producción del servicio.

El objetivo primordial en ambos casos es diseñar teniendo presente el valor funcional. Es más probable que las mejoras de diseño al producto o servicios sin sacrificar el valor funcional en términos de la calidad, confiabilidad y capacidad funcional, disminuyan el insumo total y conserven la misma cantidad de producción.

Según el tipo de producto al que se aplica la ingeniería del valor, el equipo de trabajo consta de uno o dos individuos o de un grupo grande de personas que incluyan gente de ingeniería, de diseño, de investigación y desarrollo, de comercialización y de compras.

El análisis del valor y la ingeniería del valor tienen dos características básicas:

- Eliminación de componentes
- Sustitución de materiales.

Debemos optimizar los procesos de tal manera que el tiempo programado o promedio se reduzca mediante la eliminación de elementos y materiales innecesarios, luego de haber hecho un análisis concienzudo de la necesidad e importancia que éstos tienen dentro del sistema productivo, con el objeto de reducir los costos del proceso y por ende aumentar las utilidades sin sacrificar la calidad, confiabilidad o funcionalidad del producto.

3.4.4 La Curva de Aprendizaje

Muestra la disminución del tiempo de fabricación, con el aumento de la experiencia o de la velocidad de aprendizaje. Donde hay vida puede haber aprendizaje; entre más compleja es la vida mayor es la tasa de aprendizaje. Del análisis de la curva se observa que la mano de obra disminuye al ganar experiencia, que hay un límite al proceso de aprendizaje y que la pendiente de la curva mide la velocidad de aprendizaje.

La suposición básica de las curvas de aprendizaje es que la gente, ya sea en forma individual o como miembros de un equipo adquieren habilidad en la repetición de la misma tarea o proyecto. Las personas pueden ver como progresan a través del tiempo y por tanto se motivan para hacerlo mejor.

El aprendizaje depende del tiempo. En la medida en que el operario se especialice en el proceso, el tiempo de producción se reduce. La curva de aprendizaje se obtiene graficando los valores para diferentes unidades producidas, relacionando entonces el tiempo por unidad producida (en la unidad de tiempo establecida) contra el número de unidades producidas (de acuerdo a la unidad de producción establecida). En general reconociendo la presencia del fenómeno de aprendizaje se aumenta el potencial de la productividad humana aplicándola para reducir las horas-hombre y el insumo humano para un nivel específico de producción.

3.4.5 El Análisis de Pareto

Es una técnica conocida de aplicación de la gerencia, que concentra la atención en los problemas más importantes. En mantenimiento se puede expresar diciendo que el 20% de las causas de falla, produce el 80% de los efectos, es decir que los problemas más importantes se encuentran localizados en el porcentaje más bajo, y son los aquellos que se deben atender prioritariamente.

El principio en el cual se basa consiste en que para un conjunto constituido por un gran número de unidades, solo una pequeña parte de las mismas son realmente significativas. Esta herramienta causa-efecto puede ser aplicada a cualquier etapa del proceso productivo de una empresa a nivel del TPM.

Se tiene que establecer el problema o defecto que se presentó durante una determinada unidad de tiempo, luego de lo cual se indican las modalidades de las causas que producen el defecto con la frecuencia correspondiente con que ocurre, a continuación se ordenan las causas que producen un efecto de mayor a menor según su frecuencia; el siguiente paso es cuantificar el porcentaje acumulado de las causas que generan defecto.

Con los datos obtenidos se procede a graficar el porcentaje del resultado, en función del porcentaje de los elementos considerados como causa de defecto; basado en este principio la curva llamada ABC enmarca la totalidad de los elementos clasificándolos en tres zonas:

- La Zona A. Donde con el 20% de los elementos se puede controlar el 80% del resultado, que es la llamada área de resultados clave o ARC.
- La Zona B. Es la de interés medio, en la que cada elemento tiene un interés medio no despreciable, pero poco interesante, si antes no se ha controlado la zona A.
- La Zona C. En la cual un gran número de elementos tiene una influencia muy reducida en los resultados por lo que no vale la pena considerarlos.

El análisis anterior permite establecer un nivel adecuado de prioridades para corregir la causa más severa de defectos que se presentan en un proceso productivo.

3.4.6 Los Presupuestos en Base Cero

Técnica empleada para reducir los gastos generales. Indica que se debe hacer primero lo que tenga la máxima prioridad y reporte los mejores beneficios. Implica clasificar las actividades por orden de prioridad y por orden de beneficios decrecientes, para luego determinar su presupuesto.

En un proceso presupuestario se requiere que cada directivo justifique con detalle la totalidad de sus necesidades presupuestarias debiendo demostrar porque debe establecerse su presupuesto y si es verdaderamente rentable.

Esto requiere que todas las actividades se identifiquen en bloques de decisión, cada una de las cuales se evaluará a través de un análisis sistemático para ser priorizado en orden de importancia con el fin de decidir su aprobación.

El afán de modernizar y poner al día la organización interna copiando deficientemente modelos del exterior, olvidando el condicionante crítico de la productividad, han motivado una situación que al enfrentarse con la coyuntura actual en la demanda y la inflación, pone al descubierto unos gastos desmesurados que solamente una cifra de ventas utópicas podría rentabilizar.

4. FUNDAMENTOS DEL TPM

4.1 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es un nuevo enfoque gerencial de administración de mantenimiento industrial, que permite crear estrategias para un mejoramiento continuo de las capacidades y procesos actuales para tener equipos de producción siempre listos.

Mantenimiento Productivo Total es una expresión que fue ideada por la General Electric en los años 50, pero que se descuido en Norteamérica, hasta que algunas empresas Japonesas de avanzada la han acogido, desarrollado y obtenido con su aplicación resultados sorprendentes. Actualmente se considera a Seiichi Nakajima como el padre del TPM (Total Productive Maintenance), cuyo sistema basado en técnicas japonesas de gestión de mantenimiento ha demostrado ser realmente exitoso.

La filosofía del Mantenimiento Productivo Total hace parte del enfoque Gerencial Japonés hacia la de Calidad Total. Mientras la Calidad Total pasa de hacer énfasis en la inspección y selección a hacer énfasis en la prevención, el Mantenimiento Productivo Total pasa del énfasis en la simple reparación al énfasis en la prevención y predicción de las averías y del mantenimiento de las máquinas.

Inicialmente se planteo que el Mantenimiento Productivo Total comprendía seis partes [8]:

- Selección y clasificación de equipos
- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento contra averías
- Participación de los operarios
- Registros de mantenimiento.

Según Nakajima, los elementos básicos del TPM son solamente cuatro [32]:

- TPM-AM Mantenimiento Autónomo
- TPM-PM Mantenimiento preventivo - predictivo
- TPM-EM Administración del Equipo
- TPM-TEI Total Participación de los Empleados.

Los enfoques actualizados, con base en los desarrollos Japoneses están de acuerdo en que el Mantenimiento Productivo Total para lograr una buena aplicación debe incluir cinco elementos básicos (Figura 8) [22]:

- Optimizar la efectividad y disponibilidad de los equipos.
- Programar mantenimiento preventivo - predictivo para toda su vida útil.
- Implementarse multidisciplinariamente por los departamentos interesados.
- Incluir todos los miembros de la organización.
- Fundamentarse en la actividad integrada de pequeños grupos.

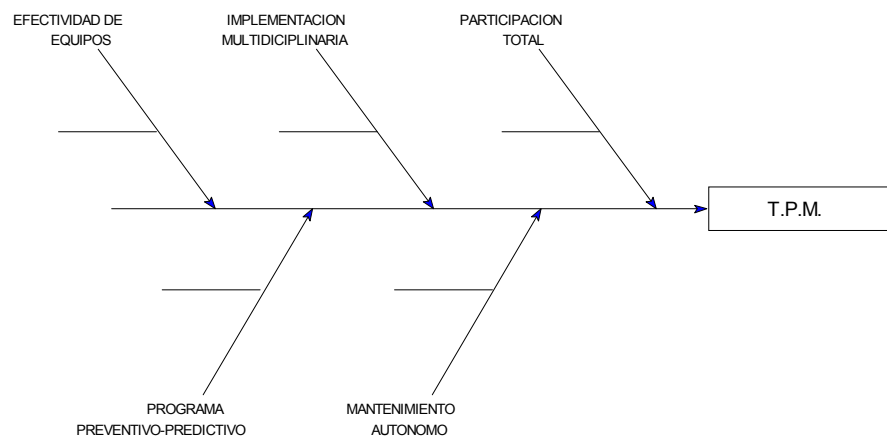


Figura 8. Elementos del T.P.M.

4.2 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL TPM

Entre los principios fundamentales del TPM podemos enumerar:

- **Cero Defectos:** Trata de eliminar las seis grandes causas de pérdida que son: Averías, preparación y ajuste, paradas menores y tiempos vacíos, velocidad reducida, defectos de calidad, reducción en rendimiento. Esto por medio de equipos de diagnóstico adecuados, órganos de control y automatización. Con énfasis en el logro del Control Total de la Calidad.
- **Inventarios Cero:** Basado en la producción “Justo a tiempo”, y el aseguramiento de las compras y ventas, eliminando sistemas de bodegaje.

- **Rentabilidad Total:** Lo cual requiere desarrollo de mantenimiento preventivo, predictivo, productivo y prevención de mantenimiento acompañado de actividades de pequeños grupos.
- **Productividad:** Esta debe ser idealmente máxima y está dada por la relación de SALIDAS, reflejadas en producción, calidad, bajo costo, entregas, seguridad y entorno, moral, costo de vida útil económica, con respecto a las ENTRADAS, representadas por los trabajadores, ingeniería y mantenimiento planta y control de inventarios.
- **Participación Total:** Es necesario la participación de todos y cada uno de los empleados de la empresa en forma consciente. Combina la fijación de metas “arriba - abajo” por parte de la alta dirección con actividades de mejora y mantenimiento por pequeños grupos de línea. Los jefes de los grupos individuales son miembros de un pequeño grupo del siguiente nivel de la organización de tal manera que se garantice la comunicación vertical y horizontal.
- **Mejora de la Eficacia:** Pretende que los equipos estén libres de mantenimiento y que el costo de vida útil de estos sea económico.
- **Logística y Terotecología:** La terotecología es la ciencia que se encarga de las materias primas, sistemas, programas, información y los equipos. La logística quien se encarga del diseño, ingeniería y mantenimiento de equipos. Es así como el TPM hace parte de la Terotecología, y ésta a su vez de la logística y entre más estén interrelacionalizados existirán más equipos libres de fallas.
- **Mejoramiento de los Lugares de Trabajo:** Aplicación del Sistema de las 5S. SEIRI (Organización), SEITON (Orden), SEISO (Pureza), SEIKETSU (Limpieza), SHITSUKE (Disciplina).

4.3 METAS DEL TPM

El TPM es mantenimiento productivo realizado por todos los empleados a través de actividades de pequeños grupos llevadas a cabo en el conjunto de la compañía. El TPM incluye las cinco metas siguientes [33]:

- Mejora de la eficacia de los equipos
- Mantenimiento autónomo por los operadores
- Programa planificado de mantenimiento, administrado por el departamento de mantenimiento.
- Adiestramiento para mejorar las habilidades operativas y de mantenimiento.
- Un programa de gestión de equipos inicial para prevenir problemas que puedan surgir durante la puesta en marcha de una nueva planta o un nuevo equipo.

La palabra "total" en "Mantenimiento Productivo Total" tiene tres significados relacionados con tres importantes características del TPM:

- Eficacia Total: Implica la búsqueda de eficacia, economía, productividad o rentabilidad.
- Mantenimiento Preventivo Predictivo Total: Incluye la prevención del mantenimiento y la mejora en la ejecución del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.
- Participación Total: Fundamentada en mantenimiento autónomo por la actividad de operadores o pequeños grupos en cada departamento y a cada nivel.

El primer concepto Eficacia Total se acentúa en el mantenimiento Predictivo y Productivo. El segundo concepto, Mantenimiento Preventivo Total, fue también introducido durante la era del Mantenimiento Productivo. Significa establecer un plan de mantenimiento para toda la vida útil del equipo e incluye la prevención del mantenimiento, que es lo que se procura alcanzar durante las fases de diseño del equipo.

El último concepto, Participación Total, que incluye Mantenimiento Autónomo con actividades de operadores y pequeños grupos, es componente único del TPM. El TPM tiene dos metas, averías cero y defectos cero. Cuando las averías y los defectos se eliminan, mejora el índice operativo del equipo, se reducen los costos, se minimizan los inventarios y se aumenta la productividad de la mano de obra.

La meta principal de toda actividad de mejora de una fábrica es aumentar la productividad minimizando las entradas y maximizando las salidas. Estas no comprenden solamente el incremento de la productividad, sino también la mejora de calidad, costos más bajos, cumplimiento, mayor seguridad e higiene industrial, moral más alta y un entorno de trabajo más favorable.

En lo que se refiere a la reducción de los costos del ciclo de vida útil, el TPM tiene características en común con los conceptos de la Terotecnología y la Logística Militar [32].

Terotecnología es un término acuñado en el Reino Unido en 1970. Es una combinación de prácticas de gestión, finanzas, ingeniería y otras con activos físicos para obtener costos económicos del ciclo de vida útil (LCC). Se ocupa de la especificación y diseño para lograr fiabilidad y facilidad de mantenimiento de la maquinaria y estructura de las plantas, su instalación, mantenimiento, modificación y sustitución; con la necesaria retroinformación sobre diseño, rendimiento y costos.

Logística es un término tomado del vocabulario militar, que significa ayuda para la línea del frente por medio del abastecimiento, almacenamiento y mantenimiento de material y sistemas. Esta disciplina ha modernizado las nociones tradicionales del ciclo de vida de las mercancías y equipos a través de los conceptos LCC, Ingeniería de Confiabilidad, e Ingeniería de Mantenimiento. Aunque es verdad que el TPM, la Terotecnología y la Logística tienen como meta común el LCC económico, difieren en términos de objetivos precisos y distribución de responsabilidades (Figura 9).